

УДК 624.073

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НА СДВИГ СОЕДИНЕНИЯ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ СОГЛАСНО СТБ EN

А. В. Баранчик, В. Г. Баранчик

Белорусский национальный технический университет

Высокопрочные болты с регулируемым натяжением в настоящее время получили большое распространение.

Несущая способность соединения зависит от количества плоскостей сдвига, коэффициента трения, напряжения болтов и их числа. Для того чтобы болты можно было натянуть сильнее, их изготавливают из специальных сталей и подвергают соответствующей термической обработке. Прочность таких болтов при работе на растяжение заметно увеличивается. Эти болты называют высокопрочными.

К монтажным соединениям на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением относятся: фрикционные, или сдвигоустойчивые соединения, в которых внешние усилия воспринимаются за счет сопротивления сил трения, возникающих по контактным плоскостям соединяемых элементов от предварительного натяжения болтов; фрикционно-срезные соединения, в которых внешние усилия воспринимаются, главным образом, за счет преодоления сопротивления сжатию фланцев от предварительного натяжения высокопрочных болтов.

В сдвигоустойчивых соединениях не происходит взаимного смещения соединяемых элементов, сдвигающие усилия воспринимаются только силами трения, а сами сильно натянутые болты непосредственного участия в передаче усилий не принимают. Цилиндрическая поверхность болта даже не касается внутренней поверхности отверстий в элементах узла. В этом главное отличие от соединений с болтами нормальной и повышенной точности.

В настоящей работе рассматриваются фрикционные соединения на болтах с контролируемым натяжением без подготовки поверхности, выполненные на болтах с контролируемым натяжением стальных элементов, имеющих цинковое покрытие. Необходимость устройства цинкового покрытия вызвана эксплуатацией конструкций в агрессивных средах.

Болтовые соединения при соответствующей предварительной затяжке болтов способны за счет сил трения, возникающих между плоскостями сдвига, передать определенное усилие, F :

$$F = f \times P \times n,$$

где F — сила трения, кН;

f — коэффициент трения;

P — усилие затяжки болта, кН;

n — число болтов в соединении.

В сдвигоустойчивых соединениях расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, определяется по формуле:

$$Q_{bh} = f_{ub} \times \gamma_b A_{bh} (\mu / \gamma_h).$$

где f_{ub} — номинальное значение временного сопротивления материала болта, МПа;

A_s — площадь сечения болта, мм²;

μ — коэффициент трения;

γ_h — коэффициент надежности (табл. 7.8);

γ_b — коэффициент условий работы соединения, зависящий от числа болтов, необходимых для восприятия расчетного усилия.

Число n высокопрочных болтов в сдвигоустойчивом соединении, необходимых для восприятия действующего продольного усилия N , определяется по формуле

$$n > N / \gamma_c Q_{bh},$$

где γ_c — коэффициент условий работы при расчете на прочность.

Номинальное минимальное усилие предварительного натяжения $F_{p.c}$ определялось согласно СТБ EN 1090-2-2013 по формуле

$$F_{p.c} = 0,7 f_{ub} A_s,$$

где f_{ub} — номинальное значение временного сопротивления материала болта;

A_s — площадь сечения болта нетто.

Для соединения применялись стальные пластины толщиной 16 мм с цинковым покрытием толщиной 200 мкм, нанесенным методом горячего оцинкования.

Для болтов с контролируемым натяжением приняты болты класса 10.9 класса точности В, диаметром 16 мм. Номинальное минимальное усилие предварительного натяжения $F_{p.c}$ принято 110 кН.

Количество болтов в соединении 4 шт.

Надежная работа соединений на высокопрочных болтах обеспечивается только при условии равномерного и стабильного натяжения всех болтов. При проведении исследований принята методика косвенной оценки этого усилия путем гарантированного обеспечения заданной величины крутящего момента $M_{r,i}$, который прикладывается при затяжке гайки.

Значения момента закручивания $M_{r,i}$, используемые для создания номинального минимального усилия предварительного натяжения $F_{p.c}$, определяют для каждого типа комплекта болта и гайки, основанные на классе, декларируемом изготовителем:

$M_{r,i} = k_{md} \times F_{p.c}$ — при значении k_{md} для соответствующего класса.

Класс, соответствующий способу регулирования натяжения болтов по моменту закручивания K_2 .

Болты затягивались динамометрическим ключом с соответствующим рабочим диапазоном. Использовался ручной динамометрический гаечный ключ. $M_{r,i}$ равен 330 Н×м при $k_{md}=0,175$.

Натяжения болтов по моменту закручивания проводилось в два этапа:

а) первый этап натяжения: гаечный ключ устанавливался на значение момента закручивания, приблизительно равное $0,75 M_{r,i}$;

б) второй этап натяжения: гаечный ключ устанавливался на значение момента закручивания, равного $1,10 M_{r,i}$.

Момент затяжки болтов перед испытаниями составил $330 \div 350$ Н×м.

Образцы для испытаний представлены на рисунке 1.

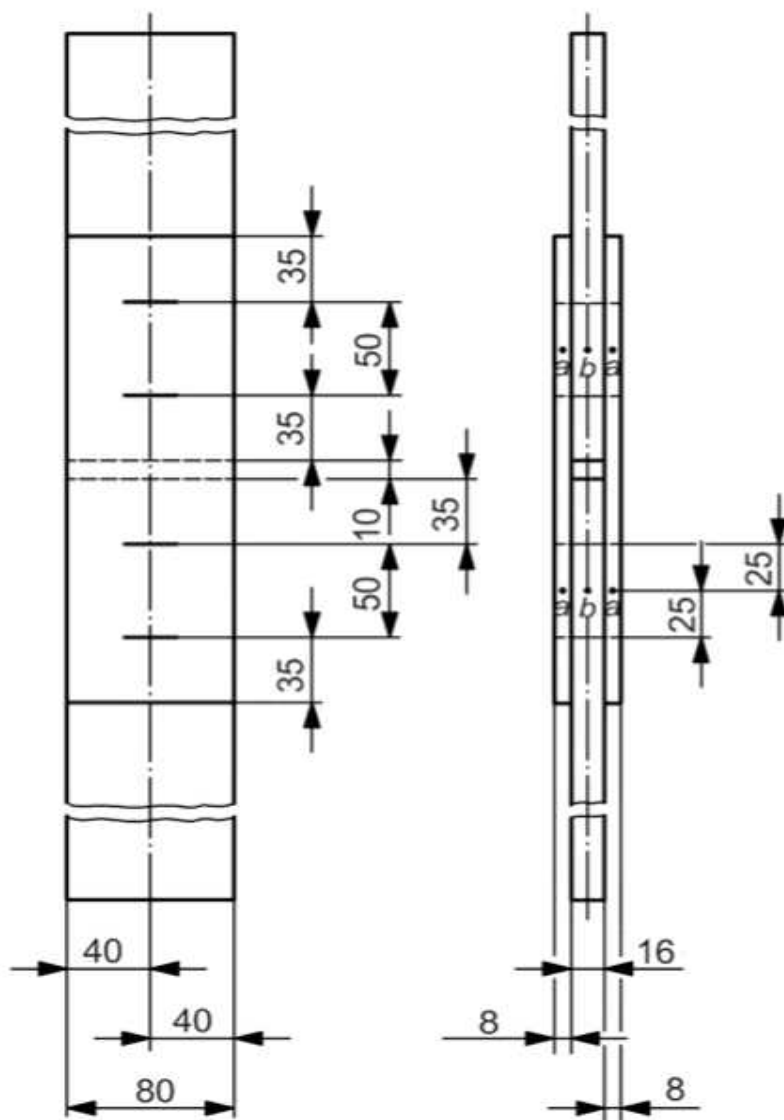


Рисунок 1 — Образцы для испытаний по определению коэффициента трения

Исследования образцов проводились на машине разрывной модернизированной для статических испытаний Р-100М. Машина была модернизирована для возможности построения диаграммы нагрузка-деформация, а также для возможности автоматического нагружения образцов по заранее заданной диаграмме с заданной скоростью. Диаграмма дает возможность длительного нагружения образца с заданным усилием.

Испытания проводились на восьми образцах. Четыре образца нагружались с нормальной скоростью (продолжительность испытаний – приблизительно от 10 до 15 мин). Пятый – восьмой образцы испытывались на ползучесть. Сдвигом считают относительное смещение смежных точек на внутренней и внешней пластинах в направлении приложения нагрузки. Сдвиг измерялся отдельно для каждого края образца. Для контроля сдвига в соединении на первых четырех образцах устанавливались 8 индикаторов часового типа ИЧ-10. Для каждого края величина сдвига принималась по среднему значению смещения пластин на обеих сторонах образца.

Жесткость соединения на сдвиг F_{Si} характеризуется нагрузкой, при которой деформация сдвига составляла согласно СТБ EN 1090-2-2013 – 0,15 мм. По результатам испытаний первых четырех образцов рассчитывалась средняя сдвиговая нагрузка F_{Sm} .

Пятый испытываемый образец нагружался до значения, равного 90 % средней сдвиговой нагрузки F_{Sm} для первых четырех образцов.

Исследования проводились на машине разрывной модернизированной для статических испытаний Р-100М. Машина была модернизирована для возможности построения диаграммы нагрузка-деформация, а также для возможности автоматического нагружения образцов по заранее заданной диаграмме с заданной скоростью. Имеется возможность задания диаграммы для длительного нагружения образца с заданным усилием.

Испытания проводились на восьми образцах. Четыре образца нагружались с нормальной скоростью (продолжительность испытаний — приблизительно от 10 до 15 мин). Пятый – восьмой образцы испытывались на ползучесть. Сдвигом считают относительное смещение смежных точек на внутренней и внешней пластинах в направлении приложения нагрузки. Сдвиги измерялись отдельно для каждого края образца. Для контроля сдвига в соединении на первых четырех образцах устанавливались 8 индикаторов часового типа ИЧ-10. Для каждого края деформация сдвига принималась по среднему значению смещения пластин на обеих сторонах образца.

Жесткость соединения на сдвиг F_{Si} характеризуется нагрузкой, при которой деформация сдвига составляла согласно СТБ EN 1090-2-2013 – 0,15 мм. По результатам испытаний первых четырех образцов рассчитывалась средняя сдвиговая нагрузка F_{Sm} . Следует отметить, что сдвиг образцов происходил моментально со смещением более 0,5 мм.

Значения коэффициента трения μ_i определялись по формуле

$$\mu_i = \frac{F_{Si}}{4F_{p.c}}.$$

Среднее значение сдвиговой нагрузки F_{Sm} и ее стандартное отклонение S_{Fs} определялись по формуле:

$$F_{sm} = \frac{\sum F_{si}}{n}.$$

Стандартное отклонение сдвиговой нагрузки составило

$$S_{Fs} = \frac{(F_{si} - F_{sm})^2}{(n - 1)}.$$

Среднее значение коэффициента трения μ_m и его стандартное отклонение S_{μ} определялись по формулам:

$$\mu_{sm} = \frac{\sum \mu_{si}}{n},$$

$$S_{\mu s} = \frac{\sqrt{\sum (\mu_i - \mu_s)^2}}{(n - 1)}.$$

По результатам испытаний получены следующие значения:

№п/п	F_{Si} , кН	F_{sm} , кН	S_{FS} , кН	μ_i	μ_{sm}	$S_{\mu s}$
1	149,0	160,3	12,3	0.339	0,364	0,0289
2	176,2			0.400		
3	152,2			0.346		
4	163,8			0.372		

Характеристическое значение коэффициента трения для испытаний на ползучесть принималось равным среднему значению μ_{sm} за вычетом стандартного отклонения, умноженного на 2,05. По данному значению вычислена сдвиговая нагрузка F_s , на которую проводились испытания пятого образца.

Нагрузка на пятый образец для испытания на ползучесть составила 135 кН. При нагружении пятого образца деформации сдвига фиксировались при помощи индикаторов многооборотных с ценой деления 0,001 мм. Показания по индикаторам снимались через 5 минут после нагружения (условный ноль) и далее через 15 минут. На 60-й минуте нагружения деформации сдвига составили 0,00375 мм и превысили 0,002 мм (предельное значение по СТБ EN 1090-2-2013).

Решено было уменьшить нагрузку на образец до 130 кН и повторить испытание на ползучесть. На 180 минуте деформации сдвига образца составили 0,0040 мм и превысили предельные 0,002 мм.

Седьмой и восьмой образцы нагружались сдвиговой нагрузкой 125 кН. После выдержки под сдвиговой нагрузкой в течение 180 минут деформации сдвига не превысили 0,002 мм, и данную нагрузку приняли за характеристическое значение сдвиговой нагрузки.

Для этой нагрузки был вычислен коэффициент трения $\mu_i=0.284$. Даная нагрузка принята как сдвиговая нагрузка F_s .

Но по СТБ EN 1090-2-2013 возможно назначить сдвиговую нагрузку по формуле $F_s = 0,9 F_{sm}$.

Как видно из результатов проведенных исследований, назначение данной нагрузки для соединений, выполненных на болтах с контролируемым натяжением стальных элементов, имеющих цинковое покрытие, является завышенным. Для назначения сдвиговой нагрузки F_s следует использовать статистический метод.

Список использованных источников

1. Возведение стальных и алюминиевых конструкций. Часть 2. Технические требования к стальным конструкциям: СТБ EN 1090-2-2013. – Минск., 2013.